

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Hornicko – geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

**Technologie řízeného kompostování
v průmyslových kompostárnách a možnosti využití
vzniklého substrátu**

**Technology of controlled composting in industrial composting and
recovery options resulting substrate**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:

Martin Gwozdz

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D

Ostrava 2010

Prohlášení

Prohlašuji, že

- celou bakalářskou práci včetně příloh jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu
- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3)
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě 15. 4. 2010

.....

Martin Gwozdz

Poděkování

Děkuji panu Ing. Tomáši Bouchalovi, Ph.D. za velmi cenné rady a poznámky, které mi během zpracování celé mé Bakalářské práce poskytoval. Dále bych chtěl také poděkovat panům Hubertu Seiringerovi a Robertovi Tulnikovi z firmy *ARGE kompost & biogas Österreich*, za velice důležité poskytnutí publikace jejich kompostárny v Rakousku. Také děkuji paní Lence Zapletalové z firmy SPRESO, s. r. o. za poskytnutí materiálů a informací o jejich kompostovací metodě v Kralicích na Hané. V neposlední řadě děkuji panu Ing. Petrovi Plívovi, CSc., VÚZT, v. v. i., Praha za bezplatné poskytnutí jejich obrázků a materiálů z publikace Kompostování v pásových hromadách na volné ploše.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Martin Gwozd**

Studijní program: B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor: 3904R028 Environmentální biotechnologie

Téma: **Technologie řízeného kompostování v průmyslových kompostárnách a možnosti využití vzniklého substrátu**
Technology of Controlled Composting in Industrial Composting and Recovery Options Resulting Substrate

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Technologie kompostování
3. Současná situace kompostování v ČR
4. Mikroorganismy, které se podílejí na aerobním kompostování
5. Metody kompostování v ČR a zahraničí
6. Druhy odpadů zpracovávaných v kompostárnách
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Oskár Čermák, Marek Kebísek: Odpadové hospodářství : kompostovanie, Slovenská technická univerzita, 2008-149 s. : il., ISBN 978-80-227-2920-8.

Miroslav Kalina: Kompostování a péče o půdu - 2., upr. vyd.. - Praha : Grada publishing, 2004 - 116 s. : il. ISBN 80-247-0907-4.

Mečislav Kuraš a kol.: Odpady, jejich využití a zneškodňování, VŠCHT Praha, 1994.

Bidlingmaier, Werner: Biologische Abfallverwertung, Stuttgart, Německo, 2003-283 s. : il. ISBN: 3-8001-3208-7.

Diaz, Luis F.: Compost science and technology, Amsterdam, Nizozemí, 2007-xvi, 364 s. : il., ISBN: 978-0-08-043960-0.

server: BIOM.cz.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Bouchal, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 15.04.2010



prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu

prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Anotace

Má bakalářská práce je zaměřená na kompostování. Přibližuje metody kompostování, které jsou užívány v České republice. Stručně vysvětluje, jaký je rozdíl mezi kompostováním aerobním a anaerobním. Je zde zodpovězena otázka důležitosti kompostování a techniky, podle které se správně kompostuje, rozdíl kompostování v ČR a v zemích Evropské unie. Popisuje dvě metody kompostování v pásových hromadách na volné ploše: první metoda je uplatňována v ČR, druhá se používá v Rakousku. Obě tyto metody jsou popsány s přihlédnutím k platné české i rakouské legislativě. V závěru hodnotím, která ze dvou technologických metod kompostování je efektivnější.

Klíčová slova: metoda kompostování, kompostárna, kompost, stabilizovaný (zralý) kompost, hygienizace, homogenita, provzdušňování, pásové hromady na volné ploše, ARGE kompost & biogas Österreich, SPRESO, s. r. o.

Summary

The focus of my bachelor thesis is on copomosting plants. It shows the method of composting in Czech Republic. Briefly explains the difference between aerobic and unaerobic composting. The questions of composting importace and of methods or proper composting are answered here, and the diference between composting in CR and in the European union countries is described. Two methods of composting in strips pile on the free space, the first method is applied in CR the latter in Austria. Both of these methods are described in accordance with current legislation in both countries. In conclusion I evaluate which of the two technological methods of composting is more effective.

Keywords: composting method, composting, compost, stabilized compost, hygienization, homogeneity, aeration, strips pile on the free space, ARGE kompost & biogas Österreich, SPRESO, s. r. o.

Seznam použitých zkratk

BRKO – Biologicky rozložitelný komunální odpad

BRO – Biologicky rozložitelný odpad

TKO – Tuhý komunální odpad

NH₃ – amoniak (čpavek)

H₂S – sirovodík

CH₄ – metan

CO₂ – oxid uhličitý

IK – index klíčivosti

ČOV – čistírna odpadních vod

ČSN – Česká státní norma

SZÚ – Státní zdravotní ústav

BGB – Spolková sbírka zákonů

VŠB – TUO – Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ČR – Česká republika

SRN – Spolková republika Německo

pH – Potenciál vodíku

°C – Stupeň Celsia

EU – Evropská unie

VÚZT – Výzkumný ústav zemědělské techniky

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

Obsah:

1	ÚVOD A CÍL PRÁCE.....	1
1.1	Úvod.....	1
1.2	Cíl bakalářské práce	1
2	KOMPOSTOVÁNÍ	2
2.1	Základy aerobního kompostovacího procesu.....	2
2.2	Kompostování anaerobní (hnití)	3
2.2.1	Anaerobní technologie používaná v EU.....	4
2.3	Zakládka kompostu	4
2.4	Receptura zakládky	5
2.5	Homogenita surovin	5
2.6	Teplota kompostu.....	9
2.7	Hodnota pH	9
2.8	Provzdušňování kompostu	10
3	SAMOTNÁ TECHNOLOGIE KOMPOSTOVÁNÍ	11
3.1	Způsoby výroby kompostu.....	11
3.2	Kompostování v pásových hromadách na volné ploše	12
4	PRŮBĚH A ŘÍZENÍ KOMPOSTOVÁNÍ.....	15
4.1	Čas potřebný pro kompostování.....	15
4.2	Hodnocení vlhkosti kompostu.....	16
4.3	Měření obsahu kyslíku v kompostu	16
5	ÚLOHA MIKROORGANISMŮ V PROCESU KOMPOSTOVÁNÍ.....	18
5.1	Bakterie	19
5.2	Plísně.....	19
5.3	Aktinomycety	20

6	HODNOCENÍ ZRALÉHO KOMPOSTU.....	22
6.1	Stabilita kompostu (zralost)	22
6.1.1	Význam stability v praxi	22
6.1.2	Chemické a fyzikální hodnocení kompostu	23
6.1.3	Test fytotoxicity (tzv. řeřichový test)	23
6.1.4	Základní jakostní znaky průmyslového kompostu	24
7	KOMPOSTÁRNA ARGE KOMPOST & BIOGAS ÖSTERREICH.....	26
7.1	Kompostovací metoda.....	26
7.1.1	Rakouská legislativa a normy.....	27
7.1.2	Technologický postup	27
7.1.3	Význam kontroly	33
7.1.4	Otázky týkající se hygienizace	34
7.2	Kompostovací proces ve společnosti SPRESO s. r. o.....	36
7.2.1	Legislativa kompostování ve firmě SPRESO s. r. o.....	37
7.2.2	Technologie výroby kompostu	37
7.2.3	Popis technického zařízení	38
7.2.4	Všeobecné požadavky	40
7.2.5	Technologický postup [25].....	41
8	ZÁVĚR	43
	Seznam použité literatury	45
	Seznam obrázků	48
	Seznam tabulek.....	49
	Seznam nejdůležitějších právních předpisů	50

1 Úvod a cíl práce

1.1 Úvod

Bakalářská práce je na téma: „Technologie řízeného kompostování v průmyslových kompostárnách a možnosti využití vzniklého substrátu. “Vybral jsem si toto téma, protože si myslím, že lidem chybí informace, a proto produkují více bioodpadu, než by museli. Množství bioodpadu obsaženého v komunálním odpadu dosahuje mnohdy až 60 %. Což je zbytečné, dochází tak k předčasnému zaplňování skládek tuhého komunálního odpadu (dále jen TKO). Což vede k otázce: kam s odpady? Také k neustálému zakládání nových skládek. Kdyby se tento podíl biologicky rozložitelného komunálního odpadu (dále jen BRKO) kompostoval, bylo by třeba v České republice méně skládek TKO. Oslovil jsem dvě kompostárny a s vedením obou se mi podařilo navázat spoluprací. Kompostárny se nachází: První kompostárna SPRESO, s. r. o., je v Kralicích na Hané, nedaleko města Olomouce. Vybral jsem si tuto společnost, protože kompostují v pásových hromadách na volné ploše. I z tohoto důvodu k porovnání s rakouskou Die ARGE Kompost & Biogas, která užívá stejnou metodu, avšak efektivněji a rychleji, aniž by rychlost byla ovlivněna používáním urychlovačů nebo bakteriálních kmenů.

1.2 Cíl bakalářské práce

V předložené bakalářské práci přibližuji kompostování v pásových hromadách na volné ploše v zemi EU a u nás. Jde o nejčastěji využívanou metodou kompostování v ČR, protože je nejméně náročná ekonomicky a technologicky. Jako vstupní materiál se používají biologicky rozložitelné odpady, které jsou velmi lehce dostupným zdrojem surovin.

Hlavní cíle bakalářské práce jsou:

- Vysvětlení technologie kompostování
- Možná surovinová skladba kompostování
- Zhodnocení současného stavu kompostování v ČR
- Porovnání technologie na dvou konkrétních případech

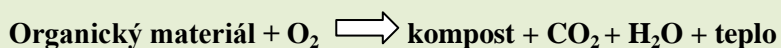
2 Kompostování

Kompostováním rozumíme proces, který probíhá buď za aerobních, anebo anaerobních podmínek, a při kterém dochází k rozkladu tzv. biologicky rozložitelných organických látek. V surovinách, které se kompostují a tvoří základku kompostu, je kyslík konečným akceptorem elektronů při rozkladných reakcích [1].

2.1 Základy aerobního kompostovacího procesu

Vzniklý substrát je tvořen především směsí organických nestabilních surovin a stabilních (zralých) produktů kompostu. Při kompostování dochází ke snižování objemu a hmotnosti v důsledku poklesu obsahu vody a potlačení nežádoucích mikroorganismů v původních kompostovaných surovinách [1].

Jednoduše lze celý proces vyjádřit obecnou rovnicí:



Obrázek č. 1: Obecná rovnice kompostování [1].

„Veškeré výše uvedené změny způsobují mikroorganismy, které vlivem svých somatických enzymatických systémů rozkládají vyšší organické molekuly na jednodušší sloučeniny a jednoduché prvky.“ [2].

Všechny chemické látky mají určitou reakční rychlost, proto i tady je z hlediska jejich využití nejdůležitější právě tato rychlost, tzn. jak a v jakém poměru jsou reaktanty podle reakce přeměněny. Podle rozsahu reakce se dá určit hloubka rozkladu organických surovin, tzv. stupeň stabilizace. Aby byly zajištěny podmínky pro optimální průběh rozkladných reakcí kompostovacího procesu za aerobních podmínek, je nutno v jeho průběhu splnit několik podmínek [2]:

- volba vhodné technologie pro dané kompostování,
- prozkoumat fyzikální, chemické a mikrobiologické vlastnosti kompostovaných surovin,
- volba vhodné receptury základky

- vhodně upravit suroviny na správnou homogenitu (zrnitost),
- čas nezbytný pro správnou stabilitu kompostu,
- zajistit monitoring kompostovacího procesu,
- rozhodnout, zda je kompost dostatečně zralý,
- volba vhodné mechanizace.

Regionální nezisková organizace ZERA má registr kompostovacích zařízení, která se nacházejí na území České republiky. Do tohoto registru spadají kompostovací zařízení, která jsou fungující, ale zavřená nebo se teprve budují. Tato kompostovací zařízení jsou lépe vidět na následujícím obrázku č. 2. Červenou šipkou jsem označil polohu kompostárny, která patří společnosti SPRESO, s. r. o., která je v Kralicích na Hané.



Obrázek č. 2: Kompostárny v ČR registrované u společnosti ZERA [3].

2.2 Kompostování anaerobní (hnití)

Kompostování anaerobní se používá v menší míře, nazývá se též hnilobné kompostování, kde dochází k vyhnívání bez přístupu vzduchu a užívá se výhradně při velkých objemech kompostovaného materiálu (nad 20 000 tun/rok) také při poměrně vysoké vlhkosti.

Aerobní kompostování je podstatně rozšířenější. Jedná se o technologicky jednodušší proces, ve kterém se do kompostu přivádí vzduch, a to více způsoby: buď

častým překopáváním, nebo provzdušňováním, které je většinou přímo zavedené v pásových hromadách [4].

2.2.1 Anaerobní technologie používaná v EU

Inženýrská společnost Valorga International vyvinula a patentovala proces, který zahrnuje urychlený rozklad organické hmoty v anaerobním prostředí. Organická hmota se po anaerobním rozkladu dále kompostuje. Kombinace výroby metanu a konečné kompostování na otevřeném prostranství umožňuje získávání zemědělského kompostu přibližně třikrát rychleji než v samostatném kompostovacím závodě, přičemž potřebný prostor je třikrát menší. Kombinované anaerobní procesy jsou pro zemědělské odborníky stále zajímavější, protože dodávají organické látky, obohacující vrchní půdu, vyčerpanou v důsledku intenzivního zemědělství [5].

2.3 Zakládka kompostu

Založení kompostovacího procesu je nejdůležitější část pro kompostování. Podle druhů a skladby materiálů, ze kterých je kompost složen, se totiž odvíjí i čas, který je potřebný pro stabilizaci (zralost) kompostu.

„Za účelem správného průběhu kompostovacího procesu a možnosti jeho řízení je nutné zajistit určitý postup jednotlivých operací. Tento proces lze rozdělit do následujících sedmi kroků.“ [6].

V následujících sedmi bodech je zjednodušeně popsán proces kompostování od založení až po stabilizaci a prosévání zralého kompostu [6]:

- I. „Výběr vstupních surovin (proces, ve kterém se separují BRO od ostatních nekompostovatelných odpadů),*
- II. příprava vstupních surovin (procesy, které vedou k dosažení optimální velikosti částic, rovnováhy živin a obsahu vlhkosti vstupních surovin v rozmezí 50 až 60 %),*
- III. skladování (platí určité zásady – zajistit skladování surovin odděleně podle druhu, skladovat pouze suroviny s nízkou vlhkostí (do 40 %), neskladovat suroviny s úzkým poměrem C:N apod.),*
- IV. správné založení kompostu (vytvoření optimální zakládky kompostu),*

- V. kompostování (fáze, kde se vytvářejí podmínky pro řízený mikrobiální rozklad),*
- VI. zrání a stabilizace (celý proces kompostování trvá 56-84 dní v závislosti na použité technologii a druhu zpracovávaných surovin, proces stabilizace nastává již v průběhu kompostování (v závislosti na technologii) a může pokračovat i po ukončení kompostování, pokud je kompost uložen a není s ním nijak manipulováno),*
- VII. konečná úprava (proces, jehož jednotlivé pracovní operace jsou závislé především na způsobu využití vyrobeného kompostu – skládá se zejména z prosévání zralého kompostu, popř. separace nežádoucích příměsí, jako jsou nerozložené organické částice, plasty, sklo, kov apod.).“ [6].*

2.4 Receptura zakládky

Jedním ze základních předpokladů správného průběhu kompostování je optimální surovinová skladba zakládky [7], a tu ovlivňuje celá řada faktorů.

Asi největší význam má správný poměr uhlíku a dusíku (tzv. poměr C:N) a počáteční vlhkost. Poměr C:N by se měl v čerstvě založeném kompostu pohybovat v rozmezí 30-35:1. Spolu s hodnotou poměru C:N je třeba zaručit počáteční vlhkost zakládky v rozmezí 50 až 60 % (u pórovitých surovin až 65 %). V praxi je běžné, že pracovníci v kompostárnách většinou surovinovou skladbu odhadují, což vzhledem výše uvedenému není úplně nejvhodnější. K těmto odhadům se často používají nejrůznější hodnoty, získané pro určitý druh suroviny, které jsou pro další využití zobecněny [4]. Surovinovou skladbu zakládky lze přesněji určit pomocí programů na tzv. výpočet surovinové zakládky kompostu. Většinu takových programů si vytváří kompostárny samy, protože je využívají pro vlastní interní potřebu, ty jsou pak umístěny na webových stránkách podniků a zabývají se kompostováním teoreticky [8].

2.5 Homogenita surovin

Pro dobře založený kompost je velice důležité mít vhodnou zrnitost vstupního kompostovaného materiálu. Pro dodržení jednotné velikosti vstupních surovin se používají různá separační zařízení např. (prosévací, vzduchové atd.). Pro volbu vhodného separačního zařízení jsou důležité zejména tyto faktory [9]:

- „*Specifikace surovin, které se budou prosévat (velikost částic, objemová hmotnost, vlhkost, lepivost, přilnavost),*
- *prosévací místo (kompostárna, místo vzniku odpadu adt.),*
- *technické parametry prosévacích zařízení (velikost otvorů, povrch prosévací plochy, počet kmitů, obvodová rychlost bubnu),*
- *provozní charakteristiky (pořizovací cena, provozní náklady, požadavky na energii, požadavky na údržbu, výkonnost m^3 / h , t / h , hlučnost, prašnost),*
- *prostorové nároky (rozměry prosévacího zařízení a navazujících dopravníků)“.*

Vstupní suroviny se musí před použitím rozdrtit na požadovanou velikost. Úprava surovin se provádí drcením nebo rozměňováním. Jednotlivé suroviny, které jsou určené ke kompostování, na sebe musí co nejúčinněji vzájemně působit. Změnou kusovitosti, tudíž dochází ke zvýšení oxidační a styčné plochy pro mikroorganismy, což samozřejmě vede k urychlení biodegradčních procesů. Nevýhodou je, že změna kusovitosti surovin představuje vysoké energetické a investiční nároky na používaná zařízení, kterými jsou drtiče a štěpkovače.

Výběr správného zařízení proto může velice výrazně ovlivnit celkový efekt provozu kompostárny. Částice, které tvoří kompost, musí splňovat určitou zrnitost, která by neměla překročit 50 mm. Strukturní složení hmoty musí umožnit výměnu plynů mezi okolím a zrajícím kompostem tak, aby byla dostatečně provzdušněná. Zralý kompost musí být porézní, kyprý a nepřevlhčený. Snadnější homogenizace, kterou získáváme v kompostu vhodnou zrnitostí, je důležitá hlavně u surovin, které se oproti jiným rozkládají pomaleji: např. drcené křoví, dřevní štěpka, stromová kůra apod. [4].

Celou problematiku dezintegrace surovin přidávaných do kompostů lze zobecnit takto [4]:

- velmi záleží na velikosti částic použitých při zakládání kompostu, u menších částic je oxidační a styčná plocha větší – proto biodegradabilní proces probíhá rychleji,
- pokud přidáváme do kompostu látky, které jsou lehce biologicky rozložitelné, mohou být její částice v základce větší,

- potřebujeme-li mít konečný kompost jemnozrný je potřeba vstupní materiál rozdrtit na požadovanou velikost.

V následující tabulce č. 1 je názorně vidět možnou surovinovou skladbu kompostu. Hodnoty v tabulce se dají vysvětlit takto:

„Číselné údaje uvádějí procentuální zastoupení jednotlivých komponent směsi, a to tak, že první hodnota zleva odpovídá surovině A, druhá surovině B, třetí a čtvrtá surovinám C a D (např. první políčko zleva v prvním řádku, které obsahuje následující hodnoty: 50; 30; 10; 10 – směs se bude skládat z 50 % zeleninového odpadu, 30 % suchého listí, 10 % drůbežího trusu a 10 % zeminy).“ [4].

Tabulka č. 1: Možná surovinová skladba kompostu [4].

		Surovina B									
		Zeleninový odpad	Suché listí	Kuchyňský odpad	Prasečí kejda	Čerstvá tráva	Štěpka	Zemina	Drůbeží trus		
Surovina A	Zeleninový odpad		50; 30; 10; 10	20; 20; 30; 30	70; 0; 0; 30	80; 20; 0; 0	40; 20; 10; 30	40; 10; 10; 40		Drůbeží trus	Surovina C
	Suché listí	40; 30; 10; 20		10; 60; 20; 10	40; 20; 10; 30	50; 10; 10; 30	10; 10; 10; 70		45; 30; 10; 50	Zemina	
	Kuchyňský Bioodpad	50; 20; 20; 10	50; 10; 10; 30		10; 40; 30; 20	15; 10; 25; 50		70; 10; 0; 20	5; 45; 40; 10	Štěpka	
	Prasečí kejda	10; 70; 10; 10	30; 40; 20; 10	20; 20; 30; 30			10; 30; 50; 10	10; 10; 40; 40	20; 0; 0; 80	Čerstvá tráva	
	Čerstvá tráva	70; 20; 5; 5	30; 40; 30; 0	70; 0; 0; 30			20; 20; 20; 40	40; 20; 10; 30	90; 0; 10; 0	Prasečí kejda	
	Štěpka	40; 10; 0; 50	0; 30; 60; 10		30; 25; 0; 45	25; 45; 30; 0		15; 10; 75; 0	10; 0; 20; 70	Kuchyňský bioodpad	
	Zemina	30; 50; 20; 0		0; 70; 30; 0	0; 0; 40; 60	10; 25; 40; 25	0; 10; 10; 80		30; 10; 20; 40	Suché listí	
	Drůbeží trus		10; 30; 60; 0	40; 10; 10; 45	0; 5; 80; 15	10; 10; 80; 0	30; 30; 30; 10	20; 10; 20; 50		Zeleninový odpad	
		Drůbeží trus	Zemina	Štěpka	Čerstvá tráva	Prasečí kejda	Kuchyňský odpad	Suché listí	Zeleninový odpad		
		Surovina D									

Barevné rozlišení tabulky č. 1:

	optimální směsi s poměrem C:N v rozmezí (30-35) : 1 a počáteční vlhkostí 50 – 60 %,
	směsi, které mají optimální poměr C:N, ale lze u nich předpokládat vyšší hodnotu vlhkosti, tj. z počátku budou náročnější na překopávání,
	směsi, které nejsou příliš vhodné, neboť mají nízký poměr C : N. V případě jejich kompostování bude třeba dostat strukturní suroviny (štěpku, piliny)

2.6 Teplota kompostu

Přeměnu BRO na humusové složky při kompostování zabezpečují převážně aerobní mikroorganismy. Jedná se o stejné procesy jako při přeměně organické hmoty v přírodním prostředí. „*Úvodní fáze rozkladu polysacharidů, bílkovin a tuků obsažených v odpadech je provázena uvolňováním tepla a zahříváním zrajícího kompostu na teplotu 50-65 °C. V této fázi se uplatňují též termofilní houby, rozkládající lignocelulózové hmoty. Při těchto hydrolyzních procesech se výrazně zvyšuje kyselost substrátu hromaděním organických kyselin. Tato fáze trvá zpravidla 2-3 týdny, ale u kompostu s velkým podílem dřevní štěpky až 2 měsíce.*“ [10]. V této fázi se uplatňují též termofilní houby, které rozkládají lignocelulózové hmoty. Při vhodné surovinové skladbě však ještě v této fázi dojde k tomu, že po několika dnech vystoupá teplota kompostované hmoty z 65 na 70 °C. Tato teplota trvá až několik týdnů (týká se rakouské firmy). Přítomnost tohoto jevu je velmi pozitivní především pro nezávadnost výsledného produktu. Při teplotě, která dosahuje 70 °C, totiž dochází ke spolehlivé likvidaci všech případných nebezpečných patogenů, které se mohou ve směsi vyskytnout (v zásadě zde dochází k pasterizaci) [11]. „*Ve vyspělých západních zemích (např. Německo, Rakousko) jsou povinně vyžadovány normované hygienické проверки přítomnosti nebezpečných organismů.*“ [11]. V následující fázi přeměny teplota klesá na 40-45°C, mění se složení mikroorganismů, vznikají humusové látky a ve zrajícím kompostu nelze již poznat původní odpady. „*V následující fázi dozrávání kompost získává hnědou barvu, molekulární váha humusových látek se zvyšuje a kyselost substrátu klesá. Kompost dosahuje zralosti a přestává být fytotoxický.*“ [10]. V poslední fázi dozrávaný kompost získává hnědou barvu. Molekulární váha humusových látek se prudce zvyšuje a kyselost substrátu prudce klesá. Kompost vykazuje známky zralosti a přestává být fytotoxický [4].

2.7 Hodnota pH

Optimální hodnota pH u čerstvě založeného kompostu se pohybuje v rozmezí pH 6-8. Může za to především fakt, že při založení čerstvého kompostu většina mikroorganismů vykazuje nejprůběžnější rozvoj a aktivitu. Komposty v nichž převládá v základce travní biomasa, je toto rozmezí udržitelné bez přidavku vápenatých látek, v ostatních případech se tyto látky pro udržení stabilního pH přidávají [12].

2.8 Provzdušňování kompostu

Kompostování je plynulé za předpokladu, že má kompost dostatečný přísun vzduchu tzn. jestli je kompost dostatečně provzdušňovaný. Používají se různé metody provzdušňování, avšak nejčastěji se provádí překopávání kompostu. K dalším metodám využívaným k provzdušňování také patří tlaková aerace, případně lze vzduch nasycený CO_2 z kompostu odsávat, a to vzdušným filtrem. „Obecně platí, že čím častější je provzdušňování, tím rychlejší je zrání kompostu. Naopak při nedostatečném provzdušňování zrajícího kompostu dochází k anaerobnímu kompostování, to je vyhniívání a kompost tzv. (kysne).“ [4].

3 Samotná technologie kompostování

Kompostovací proces je až na malé rozdíly většinou velice podobný u všech kompostovacích technologií [2]. Tyto technologie se liší buď podle používané legislativy dané země v rámci EU, nebo podle technologického rozdělení.

3.1 Způsoby výroby kompostu

Z pohledu probíhajících dějů je téměř jedno, jestli je kompostování realizováno úplně volně na hromadách, zcela bez řízení, nebo na urovnávaných pásových hromadách, kde je možné působit na podmínky, které ovlivňují proces a rychlost kompostování [6].

„Z technologického hlediska lze základní způsoby výroby kompostu rozdělit na:

- I. Kompostování na volné ploše***
 - Kompostování v plošných hromadách,*
 - Kompostování v pásových hromadách.*
- II. Kompostování v uzavřeném, resp. polozavřeném zařízení (intenzivní kompostovací technologie)***
 - Kompostování v bioreaktorech*
 - Kompostování v boxech nebo žlabech*
- III. Kompostování ve vacích (AgBag kompostování).***
- IV. Vermikompostování (zpracování žížalami Eisenia foetida).“*** [6].

Při volbě vhodné technologie pro kompostování, většinou nejdůležitější roli hrají ekonomická hlediska. *„Většinou se dá říct, že není problém technicky vyřešit jakoukoliv kompostovací technologii, ale otázkou je spíš výše počáteční investice a následujících provozních nákladů na kompostování, které se pak samozřejmě projeví u ceny vyrobeného substrátu.“* [4].

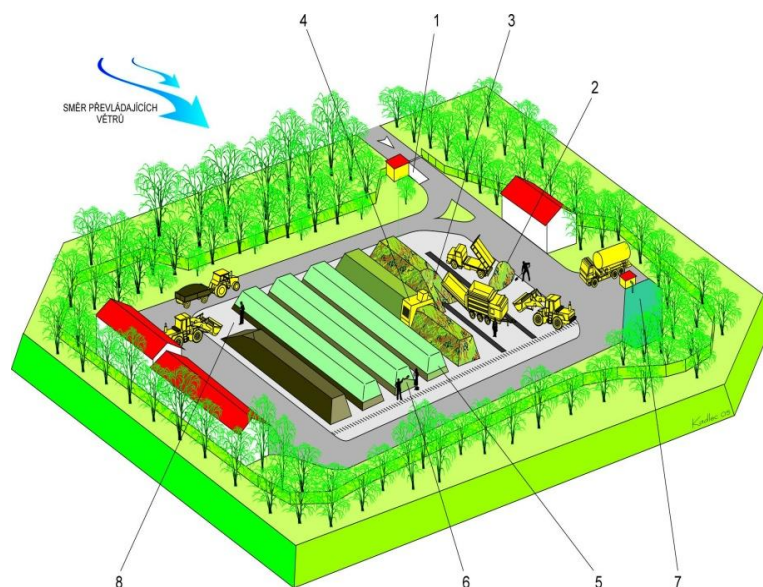
I když již existuje celá řada technologií a technických zařízení pro kompostování, budu v tomto textu věnovat pozornost zejména technologii, která má v podmínkách České republiky největší šanci pro své rozšíření. Jedná se o kompostování na volných plochách a v plošných nebo pásových hromadách [4].

3.2 Kompostování v pásových hromadách na volné ploše

Definici kompostování v pásových hromadách na volné ploše lze vyjádřit přímo touto citací: *„Jde o technologii, při které jsou kompostované suroviny zakládány do pásových hromad trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu, na zabezpečených plochách se speciálními požadavky. Délka hromad je omezena velikostí těchto disponibilních ploch.“* [4].

Způsob kontrolovaného mikrobiálního kompostování v pásových hromadách je ideální technologií pro provozování řízeného rychlokompostování. Tato technologie umožňuje využití vysoce výkonné kompostovací techniky. Přední světové firmy se ve svých výrobních provozech zaměřily na výrobu vysoce výkonných kompostovacích strojů, které se uplatní zejména v kompostovacích linkách [13].

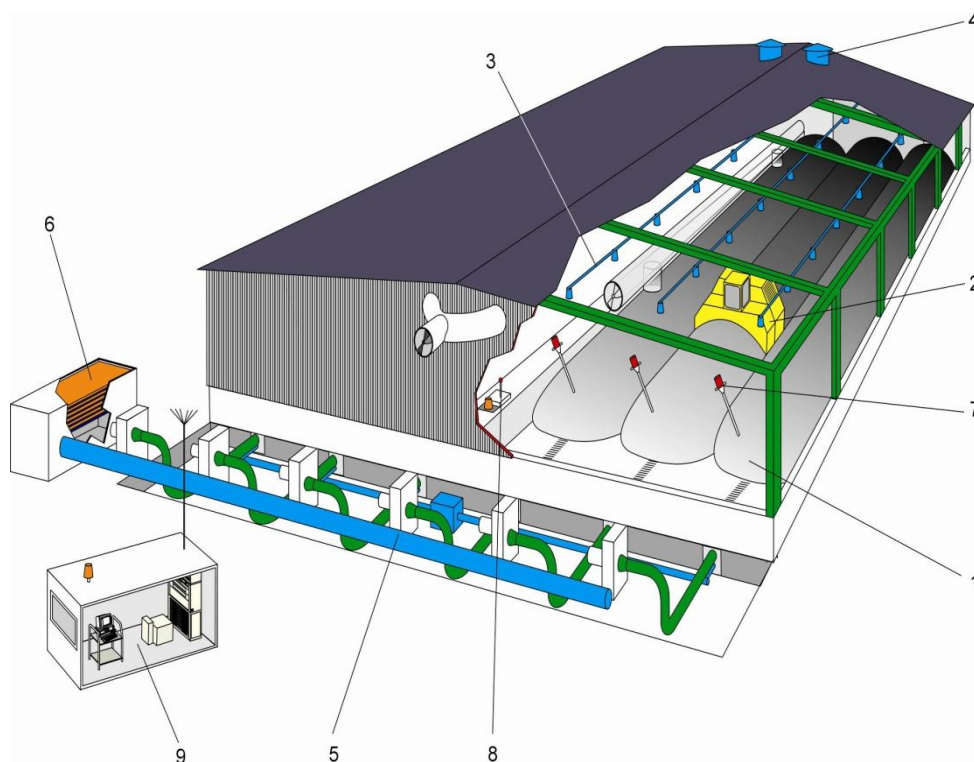
U neřízeného kompostování, které probíhá v pásových hromadách, je běžná doba zrání tři až šest, někdy i dvanáct měsíců. Délka kompostování závisí především na surovinové skladbě, kvalitě a počtu překopávek, homogenitě surovin v hmotě a např. i ročním období, ve kterém se zrovna kompostuje. Zpočátku rychlý průběh procesu vede k výrazně delší době trvání celého kompostovacího procesu [9].



Obrázek č. 3: Kompostování v pásových hromadách na volné ploše [4].

Legenda:

1. Evidence surovin-mostová váha
2. Příjem surovin
3. Zakládání do pásových hromad
4. Překopávání kompostu
5. Zrání kompostu v překopávané hmotě
6. Monitorování
7. Jímka zapuštěná do terénu
8. Expedice hotového kompostu
9. Evidence surovin - mostová váha



Obrázek č. 4: Kompostování v pásových hromadách v uzavřeném prostoru [4].

Legenda:

1. Pásová hromada
2. Překopávání kompostu
3. Vodní sprcha
4. Větrací komíny
5. Vzduchotechnika
6. Biofiltr
7. Zapichovací teploměr
8. Snímač obsahu kyslíku
9. Velín

4 Průběh a řízení kompostování

Průběh a řízení kompostování záleží na mnoha faktorech. Tyto faktory jsou rozepsány v následujících třech kapitolách. „*Po správně provedené zakládce kompostovaných hromad je další důležitou součástí kompostovacího procesu monitoring hlavních fyzikálních, biologických a agrochemických veličin. Reakce na jejich okamžitou hodnotu je podstata řízení kompostovacího procesu. Je prováděn vhodný technologický zásah tak, aby se po určené doby dodržovaly stanovené limity teploty, vlhkosti a obsahy kyslíku.*“ [9]. Proto je nutné věnovat monitoringu určených veličin náležitou pozornost.

4.1 Čas potřebný pro kompostování

Čas, který potřebujeme na přeměnu biogenních prvků v kompostovaném materiálu ovlivňuje více faktorů. Mezi tyto ovlivňující faktory patří především: vlhkost, teplota, poměr C:N, charakter kompostované biomasy a obsah kyslíku v zakládce. Dobu potřebnou pro stabilizaci kompostu velice ovlivňuje účel konečného použití, protože někdy není zcela nutné, aby byl kompost zcela stabilizovaný. Například pokud zamýšlíme kompost použít pro hnojení pole, můžeme tak učinit v dostatečné době před setím, která zaručí jeho dozrání na poli. Méně zralé komposty jsou dobrým zdrojem mnoha živin pro rostliny, a naopak komposty úplně vyzrálé zvyšují účinek minerálních hnojiv. Většinou je možné úplně rozložit všechny organické látky, které se na začátku kompostování vyskytují na zakládce [4].

Pravidelné nebo denní měření teplot kompostu je základní podmínkou kontroly správného kompostovacího procesu. Měření teplot kompostu se provádí tyčovým teploměrem s digitálním nebo analogovým ukazatelem a může probíhat denně, nebo v těchto časových intervalech [14]:

- do sedmého dne každodenně (v tomto období jsou teploty nejvyšší a je tedy třeba kontrolovat, zda dochází k biologickému prohrátí kompostu teplotami nepřevyšujícími 65 °C. Obvykle na konci tohoto časového úseku dochází i k prudkému poklesu teploty, kdy je třeba provést překopávku pro intenzifikaci rozkladu.)
- od osmého dne do ukončení kompostovacího procesu jednou za 3-4 dny

Chceme-li zajistit optimální dobu kompostování, je nutné sledovat chemické a mikrobiologické vlastnosti surovin, které zpracováváme v kompostu, aby v případě jejich odchýlení od hodnot optimálních, bylo možné provést vhodný zásah. Tento monitoring je také velice důležitý pro stanovení správné ukončení kompostovacího procesu [4].

„Mezi zjišťované hodnoty patří:

- *chemické hodnocení kompostu,*
- *měření teploty kompostu,*
- *měření obsahu kyslíku v kompostu,*
- *hodnocení vlhkosti kompostu,*
- *mikrobiologické hodnocení kompostu,*
- *stanovení stability a zralosti kompostu.*“ [4].

Při sledování kompostovacího procesu jsou nejčastěji zjišťovány teplota, vlhkost a obsah kyslíku. Zbývá tři hodnocení, která vypovídají o konečné kvalitě hotového kompostu, se provádí až po ukončení kompostovacího procesu [4].

4.2 Hodnocení vlhkosti kompostu

Vlhkost kompostu patří při zakládání a během celé doby zrání mezi parametry, které velkou měrou ovlivňují celý průběh kompostovacího procesu, především v období intenzivního rozkladu organické hmoty [13]. „Optimální vlhkost kompostu v průběhu kompostování je 40 až 70 % - úpravu vlhkosti zakládky provádíme závlahovou vodou.“ [14]. Není-li vlhkost dostatečná, mikroorganismy zastavují, případně zpomalují svou činnost, naopak když je vlhkost příliš vysoká, dochází rychle k přechodu z aerobního na anaerobní kompostování [4].

Zjednodušeně lze říct, že pokud neznáme správnou optimální vlhkost kompostu, raději zvolíme vlhkost nižší než vyšší, protože ta se snáze mění (např. závlahou kompostu). Naopak je to mnohem složitější.

Další podmínky pro úpravu vlhkosti jsou uvedeny v ČSN 46 5735 čl. 2.6.

4.3 Měření obsahu kyslíku v kompostu

Vytváření aerobních podmínek pomocí provzdušňování základní podmínkou správného kompostování. Mikroorganismy, které přeměňující organickou hmotu při

kompostování, potřebují pro svůj život velké množství kyslíku a jako odpadní látku produkují CO_2 . Správně zvolenou technologii pro kompostování poznáme tak, že výměna plynů mezi zrajícím kompostem a okolím probíhá přímo v hromadě, ve které je dostatek vzdušného kyslíku. Používané postupy se liší podle použitých kompostovacích technologií. Je-li v kompostu dostatečná vzdušnost, pak většina plynných produktů oxiduje na látky, které téměř nezapáchají. Takto lze jednoduchým způsobem poznat správnost žádoucích chemických reakcí, které by měly v kompostu probíhat. Naopak jestli je z jakéhokoli důvodu špatné provzdušňování, tzn. v kompostu je nedostatečný obsah vzdušného kyslíku, potom plynné produkty metabolismu mikroorganismů nemohou být plně oxidovány a do prostředí se uvolňují látky, které lze velmi dobře identifikovat vzhledem k tomu, že zapáchají. Jedná se především o tyto látky: amoniak (NH_3), sirovodík (H_2S), merkaptany a různé kyseliny (např. máselná, octová, mléčná) [4].

5 Úloha mikroorganismů v procesu kompostování

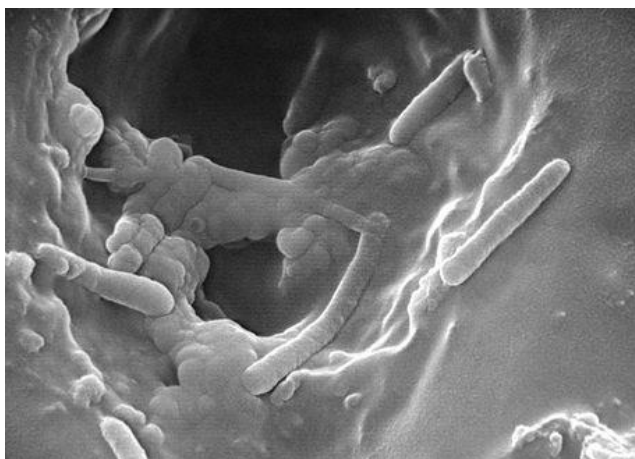
Přítomnost mikroorganismů zabezpečuje průběh kompostování, při kterém dochází k rozsáhlému rozkladu více látek, např. aminokyselin a jednoduchých cukrů, což vede až k tvorbě komplexních proteinů a sacharidů. Konečným výsledkem této přeměny je kompost. *„Mikroorganismy přicházející do procesu se zpracovávaným odpadem jsou většinou spojeny se zažívacím traktem a většina by jich měla v průběhu kompostování vymizet. Organismy, které se vyvinou v průběhu kompostování a podílejí se na degradaci organické hmoty, jsou většinou mezofilní a termofilní bakterie a plísň.“* [15].

Tyto organismy v kompostu tvoří ideální rozkládací postupy, které se vyskytují v přírodě. Při kompostování se tvoří a vyvíjí velké množství různých mikroorganismů, jejichž výskyt a druh se liší v závislosti na vlastnostech kompostovaného materiálu. Velice důležité jsou také tyto faktory: teplota, vlhkost, obsahu kyslíku a pH materiálu. Na začátku probíhá rozklad organické hmoty poměrně rychle, v důsledku toho, že materiál obsahuje lehce kompostovatelné látky. Po spotřebování lehce degradovatelného materiálu je jeho množství omezeno a začíná proces rozkladu hůře degradovatelných materiálů [16].

„Důležité pro činnost buněčných enzymů je to, že látky musí být štěpené na velice malé složky, avšak ne všechny organismy jsou schopné produkovat potřebné enzymy. Pro kompost je typická vysoká molekulová hmotnost, polymerická struktura chemikálie, která nemůže přecházet přímo do buněk mikroorganismů. Další rozklad proto vyžaduje velký počet speciálních organismů, mezi něž patří např. plísň. Kompostovaný materiál je těmito organismy hydrolyzovaný do malých složek, které mohou sloužit pro další degradaci nesespecifikovanými organismy. Mikroorganismy, které se v kompostovaném materiálu vyskytují, tvoří tyto základní skupiny: bakterie, plísň, aktinomycety. Tyto organismy můžeme dále rozdělit na anaerobní a aerobní nebo fakultativně anaerobní. Anaerobní bakterie pro svou činnost nepotřebují kyslík, a když se kyslík v kompostu vyskytuje, pak tyto bakterie hynou. Naproti tomu aerobní bakterie pro svůj život kyslík potřebují a fakultativně anaerobní mohou působit a přežívat v obou prostředích. Mikroorganismy v kompostovaném materiálu dělíme v závislosti na teplotním pásmu, které jim stanovuje nejvhodnější prostředí pro jejich rychlý růst na psychofilní, mezofilní a termofilní.“ [16].

5.1 Bakterie

Jedná se o malé jednoduché organismy, které aktivně působí na začátku rozkladu. Bakterie se dokáží velice rychle aklimatizovat v daném prostředí, dovedou rychle rozložit organickou hmotu např. (BRO), nejvíce stabilizují lehce rozložitelné živiny, jako jsou třeba cukry. Všechny bakterie potřebují mít pro svou činnost vhodné pH prostředí, protože v nepříznivém prostředí jejich aktivita klesá, až nakonec v prostředí pro ně zcela nehostinném úplně zaniká [16]. „*Aerobní bakterie (koky, spirily, paličky) mohou být mezofilní, nebo termofilní. Bakterie jsou většinou heterotrofické.*“ [16]. V kompostovaných hromadách se nejčastěji vyskytují zejména čeledi *Enterobacteriaceae*, *Pseudomonadaceae*, *Bacillaceae*, ale i mnohé další v závislosti na umístění, typu substrátu a podmínkách prostředí. Na následujícím obrázku je vidět čeleď *Pseudomonadaceae*.



Obrázek č. 5: Bakterie *Pseudomonadaceae* [17].

5.2 Plísně

Mezi organismy, které jsou větší než bakterie, patří plísně, ty vytvářejí individuální články - vlákna. Na začátku kompostování plísně způsobují rozklad proteinů, vosků, dřevitých jader, taky hemicelulózy, pektin a ligninu. Naopak jsou méně citlivé na prostředí s nižší vlhkostí a nižším pH než bakterie. Protože plísně pracují v aerobním prostředí, vyžadují dostatek kyslíku. Na rozdíl od bakterií plísně rostou ve všech fázích kompostování, ale hynou při vysokých teplotách (Thambirajan et. al. 1955). Plísně nemohou existovat při teplotách, které převyšují hodnotu 60 °C.

U plísní je proto velice důležité dodržovat správnou teplotu a zabránit jejímu neúměrnému zvyšování. Vyšší teplota v kompostu má velice negativní dopad na dokončení

stabilizace při procesu kompostování. Na straně druhé, vyšší teplota je nezbytná pro zabezpečení správné hygienizace v kompostové hromadě, při odstraňování patogenních organismů. Jako minimální teplota se uvádí 55 °C [16]. Mezi nejčastější zástupce plísní, vyskytujících se v kompostech patří: *Mucor*, *Aspergillus* a *Humicola* a spousta dalších. Na obrázku je vidět jak vypadá plíseň *Aspergillus*.



Obrázek č. 6: Plíseň *Aspergillus* [17].

5.3 Aktinomycety

Třetí vyšší skupinou mikroorganismů jsou aktinomycety, které se nachází v kompostované hmotě. Na následujícím obrázku č. 6 je aktinomyceta kultury *Nocardia brasiliensis*. „Jejich stavba a schopnosti tvoří přechod mezi bakteriemi a plísněmi. Často se taky nazývají plísňové bakterie. Mohou být mezofilní nebo termofilní. Aktinomycety mohou degradovat organické proteiny, škrob, aminokyseliny, kyseliny, cukry, hemicelulózu, celulózu, polypeptidy a lignin. Taky jsou schopné rozpouštět bakterie.“ [16]. „Aktinomycety extenzivně rostou do času snižování teploty a dozrávání kompostu.“ [18]. Nejvíce se aktinomycety nacházejí v prvních fázích kompostování, když je podíl rychle degradovatelných složek snížený a pH se nepohybuje v kyselé oblasti.



Obrázek č. 7: *Nocardia brasiliensis* [19].

„Vyšší formy organismů vykonávají degradaci při nižších teplotách v hromadě. Mezi tyto organismy patří protozoa, rotifery a nematody. Pro svou existenci potřebují bakteriální a plísňovou biomasu a pomáhají při degradaci lignínu a pektínu. Bakterie, aktinomycety a plísně tvoří základ mikroorganismů při kompostování. Protozoa, vítrusy, riasy a vyšší formy organismů. (Finstein a Morris 1975, Biddlestone a Gray 1985) tab. 4.1.“ [18].

Tabulka č. 2: Příklad výskytu mikroorganismů v kompostě (přetvořeno dle Pedra et al., 2001) [18].

Plísně	Aktinomycety	Bakterie
<i>Aspergillus fumigatus</i>	<i>Nocarida</i>	<i>Bacillaceae</i>
<i>Chaetomium globusum</i>	<i>Streptomyces</i>	<i>Enterobacteriaceae</i>
<i>Chaetomium thermophilum</i>	<i>Thermoactinomyces</i>	<i>Hydrogenobacteraceae</i>
<i>Humicola</i>	<i>Thermonospora</i>	<i>Methylobacterium extorques</i>
<i>Mucor</i>		<i>Proponibacterium</i>
<i>Penicillium</i>		<i>Pseudomonas</i>
<i>Thermoascus aurantiacus</i>		<i>Serratia</i>
<i>Thermomyces lanuginosus</i>		<i>Thermus</i>
<i>Trichoderma viride</i>		<i>Xanthomonas maltophilia</i>

6 Hodnocení zralého kompostu

Stabilita neboli zralost kompostu je nejdůležitějším znakem jeho jakosti.

„Kvalitu a hygienickou nezávadnost vyrobeného kompostu lze posuzovat na základě stanovení biologické stability a hodnocení jeho mikrobiálních a chemických vlastností.“ [20].

6.1 Stabilita kompostu (zralost)

Stabilita je jednou z primárních znaků kompostu. Bohužel žádná dosud platná norma neudává, jakou metodou by se měla stabilita kompostu měřit, ani jakých hodnot by měla dosahovat. Velice nízkou stabilitu v kompostu mají většinou biologicky rozložitelné suroviny. Při biologické úpravě, se stabilita postupně zvyšuje, až je surovina tzv. stabilní. Rozlišujeme stabilitu dočasnou (ta je způsobena třeba nedostatkem vody v surovině), nebo trvalou (která je způsobena tím, že biologicky snadno rozložitelné látky jsou transformovány do složitých komplexů humusových látek) [4].

6.1.1 Význam stability v praxi

Je přínosné mít kompost různě zralý, protože požadavky každého spotřebitele jsou jiné. Následně jsou uvedeny rozdíly zralosti kompostu. Tato zralost ovlivňuje kvalitu kompostu a to následujícím způsobem [4].

U nezralého kompostu dochází k těmto dějům [4]:

- podporují opětovný rozvoj patogenních mikroorganismů (součást požadavků na hygienizaci kompostů by tedy měla být také stabilita),
- rychleji uvolňují živiny,
- vytvářejí látky jedovaté pro rostliny, na což jsou citlivé zvláště mladé a klíčící rostliny,
- při nesprávném skládkování samovolně zapáchají.

U zralých (stabilních) kompostů je to naopak [4]:

- jsou schopny sorbovat jiné látky, a tak optimalizovat složení půdního roztoku,

- díky obsahu humusových látek mají pozitivnější vliv na kvalitu půdy a obsah organické hmoty,
- živiny uvolňují pozvolna, působí i v dalších letech po aplikaci do půdy,
- i při dlouhodobém skladování bez přístupu vzduchu nezapáchají.

6.1.2 Chemické a fyzikální hodnocení kompostu

Při laboratorních rozbořech kompostu se postupuje podle ČSN 46 5735. Průmyslové komposty a stanovují se tyto znaky jakosti [21]:

- pH ve vodní suspenzi,
- hodnocení homogenity celku,
- obsah celkového dusíku (N),
- poměr C:N,
- vlhkost,
- stanovení nerozložitelných příměsí,
- celkový obsah spalitelných látek (C).

6.1.3 Test fytotoxicity (tzv. řeřichový test)

Řeřichový test (test fytotoxicity) patří mezi metody, kterými se vyhodnocuje intenzita rozkladu organických surovin [14]. „*Jde o biologickou metodu hodnocení fytotoxicity výluhu vzorku indexem klíčivosti (IK) citlivé rostliny (řeřichy seté). Tento postup alespoň částečně eliminuje chyby vznikající při zjišťování stability finálního produktu kompostování pouze pomocí teploty. Znakem stability je sice teplota kompostu blízká teplotě okolí, nebo teplota alespoň nižší než 45 °C (viz ČSN 46 5735), může však být ovlivněna i jinými faktory, jakými jsou např. nízká vlhkost či nedostatek kyslíku.*“ [4]. Celý řeřichový test je založen na výpočtu indexu klíčivosti citlivé rostliny (řeřichy seté) v prostředí, které je vytvořeno z vodního výluhu testovaného kompostu. Ten nám pak umožňuje kvalitativní ohodnocení intenzity rozkladu, kdy nepřítomnost fytotoxinů (IK kolem 100 %) je ukazatelem stabilního (zralého) kompostu [14].

Dá se tudíž říci, že čím delší je doba trvání fytotoxicity v první fázi kompostování, tím kratší je doba dozrávání kompostu. Kvalitativní znak stability (zralosti) kompostu, což

je kvantifikovaný IK relativní fytotoxicity, platí jen při současném posouzení ostatních parametrů uvedených v ČSN 46 5735, poněvadž tato metoda neumožňuje odhalit některé nesrovnalosti [4].

6.1.4 Základní jakostní znaky průmyslového kompostu

ČSN 46 5735 Průmyslové komposty: „*Při registraci typového kompostu (č. typu 18.1. Přílohy č. 3 vyhlášky č. 474/2002 Sb.) se uplatňují některé požadavky platné, ale nezávazné normy ČSN 46 5735 Průmyslové komposty. Pro registraci kompostu jsou závazné body 2.1 až 3.1 (s výjimkou bodu 2.4).*“ [21].

Mezi požadavky, které jsou sledovány v rámci ČSN 46 5735 u registrovaných kompostů, patří doba zrání. U neověřených kompostovacích technologií je tato doba minimálně 60 dní. V případě, že surovinová skladba kompostu obsahuje více než 40 % surovin, které se těžce rozkládají, je tato doba minimálně 100 dní. Doba mezi první a druhou překopávkou musí být delší než 21 dní. Jsou-li v základce kompostu zastoupeny i odpady nebo statková hnojiva (kejda, chlévská mrva apod.), pak vzniká důvodné podezření na obsah patogenních organismů a při stabilizaci takového kompostu musí být dosaženo teploty vyšší než 55 °C, a to po dobu delší než 21 dní. U kompostů které jsou vyráběny z ostatních surovin, stačí dosáhnout teploty 45 °C po dobu delší než 5 dní. Při měření teploty se musí dodržovat daná pravidla, aby nedošlo k neobjektivnímu měření. Proto se teplota měří ve středu zakládky v minimální hloubce 1 m od povrchu a v intervalech umožňujících sledovat průběh stabilizace kompostu [21].

Základní jakostní znaky průmyslových kompostů jsou uvedeny v tabulce č. 3 [21].

„*U registrovaného typového kompostu, použitého jako balené hnojivo nebo ke hnojení rekreačních a sportovních ploch a dětských hřišť musí být stanoveno mikrobiologické znečištění.*“ [21].

Pro odběry vzorků kompostů a při jejich mikrobiologické kontrole se postupuje podle ČSN ISO 10381 – 6. Kvalita půdy – Odběry vzorků – Pokyny pro odběr, manipulaci a uchování půdních vzorků, určených pro studium aerobních mikrobiálních procesů v laboratoři [21].

„*Stanovení indikátorových mikroorganismů pro mikrobiologická kritéria kompostu se provádí dle metod v odborném periodiku.*“ [22].

Tabulka č. 3: Základní jakostní znaky průmyslového kompostu [21].

Znak jakosti	Jednotka	Hodnota
Vlhkost	(%)	40 – 65
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku	(%)	min. 25,0
Celkový dusík přepočtený na vysušený vzorek	(%)	min. 0,60
Poměr C:N	(-)	max. 30
Hodnota pH	(-)	6,0 – 8,5
Nerozložitelné příměsi	(%)	max. 2,0
Homogenita celku	(%)	+/- 30

7 Kompostárna ARGE Kompost & Biogas Österreich

Jedná se o jednu z největších kompostáren tohoto typu v Rakousku. Nachází se nedaleko města St. Pölten. Tuto kompostárnu jsem zvolil, protože bych chtěl srovnat jejich metodu kompostování s metodou vybrané české kompostárny. V obou firmách se kompostuje v pásových hromadách na volné ploše a ani v jedné nich se nepoužívají urychlovače tzn. (bakterie, huby, plísně...). Česká kompostárna je v Kralicích na Hané a patří společnosti SPRESO, s. r. o. V následující kapitole se zmiňuji o článku, který publikoval časopis Odpady a natolik mě zaujal a ten mě na tolik zaujal, že jsem začal se společností ARGE Kompost & Biogas Österreich, spolupracovat na své bakalářské práci [23].

7.1 Kompostovací metoda

Toto zařízení produkuje kompost už šestnáct let a vyjma drobné dotace při rozjezdu provozu je po celou dobu ekonomicky soběstačné. Kompostárna zpracovává zelené odpady, kaly z čistíren odpadních vod a také bioodpad ze separovaného sběru z okolních měst. Majitel Hubert Seiringer k tomu říká [23]:

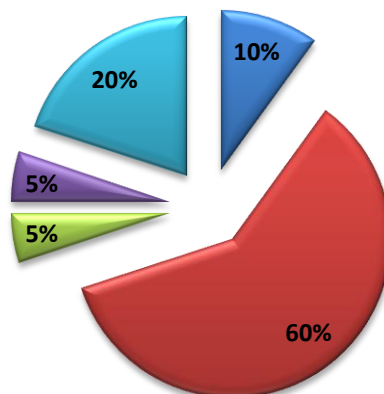
„Podíl jednotlivých druhů je zhruba třetinový. V bioodpadu z domácností představují odpady ze zahrad téměř 98 % objemu. Zbytek tvoří odpady kuchyňské. V zimě je jejich podíl samozřejmě větší.“ [23].

Vstupní kontrola předcházející procesu je velmi důsledná, zvláště u kalů z ČOV, aby byla zaručena maximální kvalita prodávaných stabilizovaných substrátů kompostu. Z vyrobeného kompostu se 60-70 % prodává do domácností. Přímě na místě se z vyrobeného kompostu míchají nejrůznější substráty [23].

Materiálová skladba kompostu je tvořena odpady ze zemědělství, zahradnictví, soukromých zahrad, polního hospodářství, procesů spojených s rekultivacemi a dalšími odpady. Vyjádření v procentech viz obrázku č. 8.

Potenciální skladba rakouského kompostu

■ Zahradnictví ■ Polní hospodářství ■ Rekultivace ■ Další ■ Soukromé zahrady



Obrázek č. 8: Průcentuální skladba kompostu v Rakousku [24].

7.1.1 Rakouská legislativa a normy

Rakouská kompostárna společnosti ARGE Kompost & Biogas Österreich kompostuje podle platné rakouské legislativy, zejména pak zákona o odpadech BGBl I 102/2002; §2(8)1. Kvalita výsledného kompostu musí splňovat tyto normy ÖNORM 2206-1; k tomu ÖNORM 2206-2 a ONR 192206. Kompost ze surovin, příloha číslo I, část 1, 2 a 4 s vyhláškou O kompostu ze spolkové sbírky zákonů I č. 292/2001. (*Kompost aus Ausgangsmaterialien gemäß Anlage I Teil 1, 2 und 4 Kompostverordnung*) [BGBl. I Nr. 292/2001]. Dodržení těchto legislativních norem je nezbytné pro dosažení zdravotní nezávadnosti kompostu, která je nezbytným předpokladem pro prodej koncovým spotřebitelům [24].

7.1.2 Technologický postup

Biochemické mechanismy rozkladu, které se uplatňují při kompostování, jsou závislé na různých faktorech. Vzájemné vztahy mezi zmíněnými faktory neurčují pouze míru rozkladu organických látek, ale také mikrobiální aktivitu, která se projevuje ve výměně plynů nebo v tepelném výkonu.

Znalost postupně probíhajících biochemických procesů během rozkladu a modifikace organických látek představuje základní předpoklad cíleného řízení, potažmo regulace procesu kompostování. Na rozdíl od anaerobních fermentačních procesů, které se využívají při výrobě bioplynu, zajišťuje aerobní fermentační proces biochemickou změnu na bázi glukózy. Teoreticky se vyskytuje v obou procesech stejné množství energie – 2803 kJ. Rovněž se v úhrnu (po spálení CH_4) uvolňuje stejné množství CO_2 (podle ÖWAV, 2004) [24]:

Tabulka č. 4: Aerobní a anaerobní rozklad cukru a energetická bilance [22].

AEROBNÍ ROZKLAD	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 6 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ uvolněná energie = – 2875 kJ/Mol
	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 3 \text{CH}_4$ uvolněná energie = – 132 kJ/Mol
ANAEROBNÍ ROZKLAD	+ SPÁLENÍ $3 \text{CH}_4 + 6 \text{O}_2 \rightarrow 3 \text{CO}_2 + 6 \text{H}_2\text{O}$ uvolněná energie = – 2671 kJ/Mol

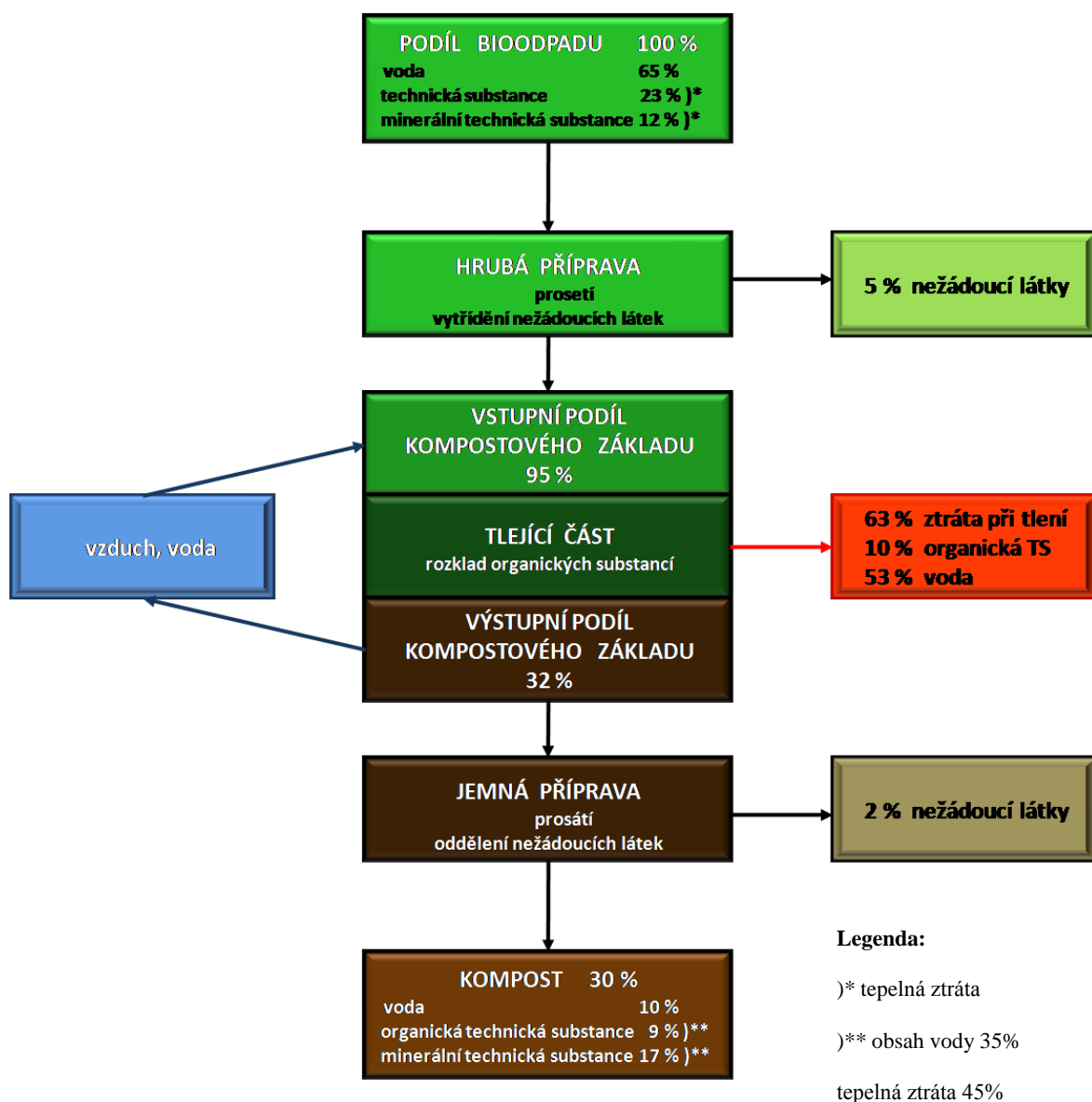
Poznámka: Úpravou technického postupu se za využití přírodních procesů vytvářejí rámcové podmínky pro co nejúčinnější dosažení cílového množství využitelného kompostu.

Během procesu fungují organické látky obsažené v odpadních látkách pro aerobní mikroorganismy (za současného přívodu kyslíku) jako zdroj energie a výživy. Přitom se část uhlíku ukládá v buněčné substanci mikroorganismů (mikrobiální biomasa), část se uvolňuje v podobě oxidu uhličitého. Bílkoviny, uhlohydráty a tuky se hydrolyzují. Produkty hydrolýzy (monosacharidy z uhlohydrátů, peptidy, aminokyseliny z bílkovin a základní stavební prvky fenolů z aromatických součástí buněčných stěn) se zčásti modifikují v organické kyseliny – v kyselinu octovou, máselnou, valeránovou, propionovou a v oxid uhličitý. V aerobních podmínkách přitom registrujeme značnou ztrátu uhlíku. Následně dochází k tvorbě vlastních bílkovin u mikroorganismů, ale také k přímé tvorbě CO_2 a vody, a to v závislosti na hodnotě pH a obsahu dusíku, čpavku. Při zajištění dostatečného přívodu kyslíku se v pozdějších fázích tlení za přiměřených teplot přeměňuje čpavek na dusičnan [24].

Potřeba kyslíku a jeho rozdělení v kompostu závisí na mnoha faktorech. Mezi nejdůležitější patří [24]:

- druh biogenní odpadu (jeho organická struktura),
- aktuální stav rozkladu,
- míra vlhkosti, která je předpokladem pro intenzivní výměnu plynů,
- poréznost hmoty,
- půdorysné rozměry základny (kompostové jámy),

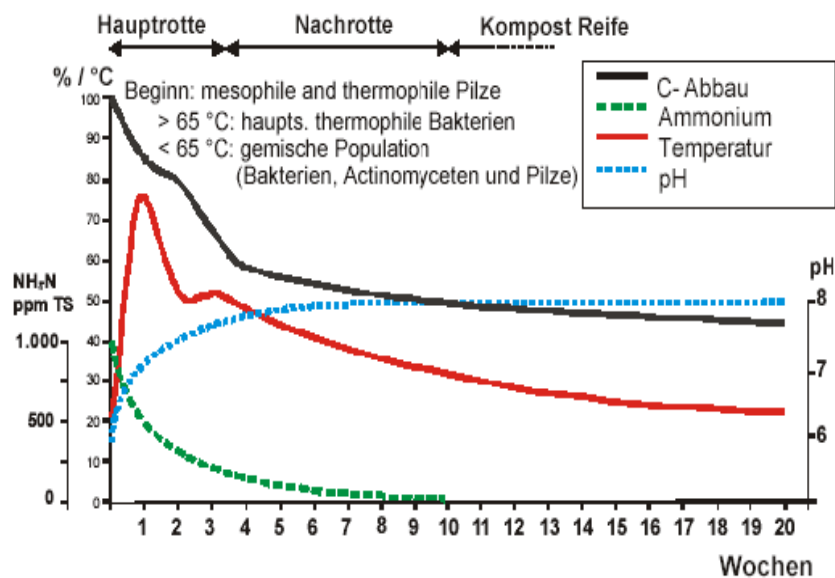
Obrázek č. 9 znázorňuje stupeň mineralizace biogenních výchozích látek prostřednictvím mikrobiálního rozkladu.



Obrázek č. 9: Stupeň mineralizace biogenních látek (převzato z Binnera, 2002) [24].

Proces látkové výměny, který spontánně probíhá mezi jednotlivými vrstvami půdy, vyžaduje v důsledku nahromadění organických výchozích surovin nebo jejich nevhodné struktury, použití procesně technických pomocných prostředků. Následný proces tvorby humusu je z procesně technického hlediska ovlivnitelný jen omezeně. Intenzita rozkladu podstatně závisí na mikrobiální dispozici výchozích látek. Rozlišujeme organické látky rozložitelné snadno a naopak obtížně. Při rozkladu organické látky působením mikroorganismů dochází v závislosti na intenzitě rozkladných procesů a objemu biomasy ke zvýšení okolní teploty. Při kompostování biogenních odpadů z oblasti potravinářství a stravovacích provozů je uvedené samozahřívání žádoucí, a to hned ze dvou důvodů. Za prvé díky němu dochází ke změně skladby mikroorganismů, a tím ke zrychlení rozkladu. Za druhé se vedle antibiotických efektů způsobených především produkty látkové výměny hub, uplatňuje také tepelná deaktivace potenciálně patogenních látek. Z uvedeného důvodu musí na aktivní mikroflóru působit po určitou dobu teploty minimálně 55 °C. Během kompostování probíhají rozkladné procesy, které jsou lépe patrné z grafu na obrázku č. 5 [24].

Následující obrázek č. 10 charakterizuje postupné fáze při rozkladných procesech, které probíhají během kompostování.



Obrázek č. 10: Celková bilance bioodpadu (Ottow & Bidlingmaier, 1997) [24].

Legenda k obrázku č. 10

Názvy hodnot v německém jazyce	Názvy hodnot v českém jazyce	Popis hodnot
Hauptrotte	hlavní fáze tlení	Počátek:
Nachrotte	následná fáze tlení	mezofilní a termofilní houby
Kompostreife	zralost kompostu	
C- Abbau	rozklad uhlíku	>65 °C: zejm. termofilní bakterie
Ammonium	čpavek	<65 °C: smíšená populace (bakterie, aktinomycety a houby)
Temperatur	teplota	
Wochen	týdny	

Poznámka: Zkratky zcela vlevo, vedle grafu – uvádí se v miliontinách (ppm) procent obsah látky, která má přímý vztah ke sloučeninám amonia NH₄N.

Rozlišujeme tři teplotní oblasti, které vždy předurčují převládající spektrum mikrobiálních druhů [22]:

- psychofilní oblast (4-20 °C): bakterie a plísňové houby
- mezofilní oblast (15-42 °C): bakterie a aktinomycety
- termofilní oblast (45-75 °C): bakterie a mezofilní až termotolerantní houbové spóry

Od 75 °C probíhá denaturace bílkovin, takže biologické procesy, které se realizují při kompostování, se za těchto teplotních podmínek utlumují.

Mezofilní a termofilní houby, které byly aktivní v počáteční fázi tlení, zastavují svoji rozkladnou činnost při teplotách mezi 60 a 70 °C. V následující fázi tlení s teplotami místy značně přesahujícími 60-65 °C dominují termofilní bakterie. Uplatňují se také termofilní aktinomycety. Během modifikace primárních výchozích organických látek se nejprve vytvářejí předběžné produkty látkové přeměny, hovoříme proto o rozkladném procesu [24].

Jakmile teploty poklesnou pod 60 °C, vyvíjí se v závislosti na substrátu směsná populace bakterií, aktinomycet a hub. Teprve když mikrobiální rozkladný proces pokročí tak daleko, že jsou k dispozici zmíněné organismy množící se dělením, mohou následně vzniknout sekundární stabilní, humidní látky, tedy nové organické sloučeniny. Následně se organominerální komplexy vážou s půdními minerály, čímž vzniká trvanlivý humus, který je pouze obtížněji mineralizovatelný, popřípadě vyžaduje jeho mineralizace delší čas [24].

K zajištění tří zásadních požadavků kladených na proces tlení (hygienizace, rozklad organické hmoty a maximální mikrobiální rozmanitost) slouží uvedené optimální teploty:

Tabulka č. 5: Optimální teplotní rozpětí podle nároků na proces tlení [24].

Procesní požadavek	Teplotní oblast
Hygienizace	> 55 °C
Fáze rozkladu; počínající rozklad ligninu / humifikace	45 – 55 °C
mikrobiální rozmanitost + rozklad mikrobiální biomasy, rozklad ligninu / humifikace	35 – 40 °C

Výskyt velkých plísňových ploch či sítí zpravidla ukazuje na špatnou homogenizaci rozmanitých skupin materiálů, na nejednotné vlhkostní poměry nebo na nepřipustné či dodatečné přimísení surovin. Nadměrný výskyt plísní zabraňuje udržení jednotné kvality kompostu a vypovídá o nižší kvalitě řízení procesu kompostování [24].

Proces kompostování probíhá přímo v pásových hromadách. Na obrázku č. 11 je vidět, jak takové pásové hromady v rakouské společnosti Arge kompost & biogas vypadají.



Obrázek č. 11: Kompost, ve kterém právě probíhá proces hygienizace [23].

Pro řízení teploty platí následující zásady [24]:

- I.** Samozahřívání umožňuje docílit (za předpokladu použití dostatečně reaktivních vstupních organických materiálů a jejich homogenních směsí) požadovaných teplot nad 55 °C (v ideálním případě až 70 °C), které mají hygienizační účinky. Aby bylo možné docílit termického hygienizačního účinku, je v závislosti na rámcových procesních podmínkách třeba dohlížet na to, aby této požadované teploty po stanovenou dobu dosahoval veškerý materiál.
- II.** Po ukončení první fáze je nutné co nejrychleji teplotu hmoty stabilizovat na 50-55 °C (větráním, provzdušněním a zavlažováním), aby bylo možné docílit jeho plynulého rozkladu.
- III.** U materiálů, které se vzhledem ke svému původu a následnému využití nemusejí tepelně hygienizovat (například ořez z keřů, stromů, listů, pokosená tráva, zbytky z polní žně nebo pevné výkaly pocházející z vlastní domácnosti) se definitivní tlející fáze, probíhající za vysokých teplot, nevyžaduje. Příkladem může být metoda kompostování za využití červů, která využívá teploty pod 40 °C. Abychom zamezili přežití kontaminovaných látek či jiných choroboplodných zárodků, musíme především v oblasti zemědělství a zahradnictví dohlédnout na co nejvyšší biologickou stabilizaci zetlelého základu. Toho dosáhneme překopáváním nebo provzdušňováním přímo v pásových hromadách a dodržením odpovídající doby kompostování.

7.1.3 Význam kontroly

Technologický postup je záměrně velmi jednoduchý. V kompostárně pracuje dvanáct lidí, ale jen dva se starají o samotný provoz, tedy provzdušňování atd. Zbytek jsou obchodníci a technologové [23].

„Kompostář má jediný úkol - zkontrolovat, jestli bakterie správně pracují,“ říká s trochou nadsázky Hubert Seiringer. „Musí se kontrolovat tři věci: složení, vlhkost a vzduch.“ [23].

Vstupní surovina se míchá z bioodpadu prosetého vstupního materiálu. Vzájemné poměry se určují podle stavu vstupních složek. Při kompostování je důležité dodržovat odpovídající hladinu vlhkosti v hromadách a jejich dostatečné provzdušnění kyslíkem [23].

Na obrázku je architektonicky krásně navržená hala, kterou Rakušané využívají ke skladování kompostů, z nichž se míchají substráty na prodej.



Obrázek č. 12: Kompostárna společnosti Arge kompost & biogas [23].

7.1.4 Otázky týkající se hygienizace

V následující tabulce je vidět, jak probíhá hygienizace. Podmínkou správné hygienizaci je průběh všech čtyř procesů popsaných v tabulce č. 6.

Tabulka č. 6: Procesy nutné pro provedení hygienizace [24].

Minimální teplota	Doba trvání
55 °C	Kontinuální měření teploty pomocí sondy; dodržení minimální teploty nepřetržitě po dobu 4 hodin, a to za předpokladu pěti odečtů; celková doba měření: nejméně 10 dnů
55 °C	Diskontinuální, pracovní měření teploty; dodržení minimální teploty nejméně po dobu deseti po sobě jdoucích dnů a za předpokladu nejméně tří odečtů
60 °C	Diskontinuální, pracovní měření teploty; dodržení minimální teploty v průběhu 3x3 dnů, a to za předpokladu dvou odečtů a za dodržení lhůty čtrnácti po sobě jdoucích dnů
65-70 °C	Diskontinuální, pracovní měření teploty; dodržení minimální teploty v průběhu 2x3 dnů, a to za předpokladu jednoho odečítání a za dodržení lhůty čtrnácti po sobě jdoucích dnů

Při intenzivním kompostování v denně provzdušňovaných hromadách se čidly kontinuálně sleduje teplota a vlhkost. Kompostování se upravuje tak, aby proces hygienizace probíhal optimálně, tj. aby kompostovaný materiál setrval při teplotě 60-70 °C dostatečně dlouhou dobu. Celý proces kompostování firma die ARGE Kompost & Biogas Österreich dokumentuje v provozních denících, které slouží jako doklad, že v kompostu proběhla hygienizace. Tyto deníky se používají zejména proto, aby se dalo dokázat, že v kompostu nejsou již patogenní látky, které se v průběhu hygienizace odbourávají [24]. Hubert Seiringer k tomu říká: *„Hygienizační požadavky dodržujeme bez obtíží. Kompost se vícekrát ročně na výstupu z procesu kontroluje na patogeny. Za celých šestnáct let provozu jsme neměli žádný problém.“* [23]. Protože v Rakousku je nutné hygienizovat za poměrně přísných podmínek určité druhy odpadů (např. z kuchyní nebo domácností), Hubert Seiringer říká: *„Když uděláte všechno podle toho, jak to chce EU, budete muset všechno spálit. Musíte se rozhodnout, jestli chcete vyrábět z biologických odpadů kompost. Pokud ano, musíte si nastavit legislativu tak, aby to bylo možné.“* [23].

Na následujícím obrázku č. 13 jsou v kompostu vidět čidla, která kontinuálně monitorují teplotu v pásové hromadě kompostu.



Obrázek č. 13: Čidla neustále kontrolují a teplotu a vlhkost v kompostu [23].

7.2 Kompostovací proces ve společnosti SPRESO s. r. o.

Kompostárna SPRESO s. r. o., se nachází v Kralicích na Hané. Dříve se firma zabývala velkochovem prasat; chovali přes 3000 kusů prasat s hlubokou podestýlkou. Při kompostování používali také tyto dva urychlovače: Ekostin a Envistin. Tento velkochov byl však více prodělečný než výdělečný. V důsledku snížení výkupní ceny vepřového masa ukončili velkochov prasat a zaměřili se pouze na kompostování. Dnes se v této kompostárně kompostuje v pásových hromadách na volné ploše. Urychlovače se v této kompostárně dnes už nepoužívají a kompostuje se podle české legislativy (ČSN 46 5735 o Průmyslových kompostech z roku 1991). Tato kompostárna má víceméně stejnou skladbu kompostovaného materiálu jako rakouská kompostárna. To mě také vedlo k myšlence, že porovnám právě tyto dvě metody kompostování. Ani v jedné ze sledovaných metod nepoužívají bakterie nebo urychlovače.

7.2.1 Legislativa kompostování ve firmě SPRESO s. r. o.

Základním předpisem, který řeší problematiku přípravy kompostů, je ČSN 46 5735 - Průmyslové komposty. Přehled dalších předpisů, dotýkajících se kompostování je uveden v příloze č. 1 tohoto technologického postupu. Tento technologický postup výroby kompostů zahrnuje zejména přípravu surovin, postup jejich navážení a úpravu zakládky, způsob a termíny překopávek, zavlažování, minimální teplotu a dobu pro její udržení a celkovou dobu zrání [21].

7.2.2 Technologie výroby kompostu

Technologie kompostování musí zabezpečovat optimální podmínky pro činnost vhodných mikroorganismů přeměňující organickou hmotu. Jde o organizmy aerobní s vysokými nároky na kyslík a produkující oxid uhličitý. Technologie musí proto zajistit dobrou výměnu plynů mezi zrajícím kompostem a okolím tak, aby v něm byl stále dostatek vzdušného kyslíku. Kompost musí být kyprý, porézní a optimálně zvlhčený. Důležitou podmínkou je také vysoká homogenita kompostu, tj. stejnorodost jeho fyzikálních a chemických složek. Tak jsou dány dobré předpoklady k vytvoření optimálního teplotního režimu a tím i kompostování [25].

„Teplotu kompostu měříme pomocí krechťového teploměru ve středu výšky zakládky a v minimální hloubce 1 m od povrchu. Interval měření se volí tak, aby bylo možné sledovat průběh zrání kompostu. U kompostů vyráběných z odpadů podezřelých na patogenní organizmy (komunální odpady, kanalizační kal, žumpy) nebo na větší přítomnost semen plevelů, musí teplota v průběhu zrání dosáhnout minimálně 55 °C po dobu alespoň 21 dnů. U kompostů vyráběných z ostatních surovin teploty 45 °C po dobu 5 dnů.“ [21].

V nízkých kompostových zakládkách o malé hmotnosti jsou vyšší tepelné ztráty a změny teplot nejsou tak výrazné. Vzestup teplot po promíchání čerstvého kompostu svědčí o dobrých podmínkách pro rozvoj vhodné mikroflóry. Jestliže teplota kompostu nestoupá nebo po předchozím vzestupu teplot nastává výrazný pokles, jsou podmínky pro mikrofóru nepříznivé [25].

7.2.3 Popis technického zařízení

Zařízení kompostárny bioodpadů tvoří dva stavební objekty:

Hala - kryté hnojiště, známá pod místním názvem „Akropolis“, se nachází přímo v areálu farmy Kralice na Hané. Stavebně je řešena jako krytá železobetonová hala s jeřábovou dráhou. Povrchovou úpravu vlastního žlabu tvoří železobetonová deska síly 20 cm, stěny tvoří železobetonové prefabrikované panely tloušťky 25 cm a výšky 6,4 m. Střecha je provedena z panelů s cementovou vyrovnávkou a živičnou krytinou. Podlaha je provedena s 3 % příčným spádem a opatřena hydroizolací s kontrolním systémem. Případné výluhy jsou odváděny podélnými otevřenými kanálky do příčné kanalizace, která je zaústěna do přečerpávací jímky. Do jímky jsou rovněž navedeny zpevněné plochy kolem hnojiště. Komunikačně je hala napojena firemní komunikací na panelovou vozovku dále na státní silnici Kralice - Biskupice. Hala slouží k přípravě zakládky, k její fermentaci a k první překopávce. Výstupem je surový kompost [25].

Na obrázku č. 14 je vidět kryté hnojiště, kde jsou po stranách pásové hromady kompostovaného materiálu. Na straně levé je čerstvá zakládka kompostu. Na této straně je ještě patrný původní kompostovaný materiál. Detail tohoto obrázku bude lépe viditelný na obrázku č. 15. Na straně pravé je téměř zralý kompost, který je těsně před vyskladněním, což je patrné z obrázku č. 16.



Obrázek č. 14: Kryté hnojiště firmy SPRESO, s. r. o. [foto autor].



Obrázek č. 15: Detail čerstvě založeného kompostu [foto autor].



Obrázek č. 16: Detail kompostu těsně před vyskladněním [foto autor].

Polní hnojiště typu A se nachází vlevo od státní silnice Kralice - Biskupice v katastrálním území Biskupice, stavební parcely č. 156 a 157. Stavebně je objekt proveden jako průjezdný nadzemní žlab z montovaných železobetonových dílců. Celková pracovní plocha o rozměrech 84,0 x 22,0 m je vodohospodářsky zajištěna a kryta živичným povrchem. Odvodnění pracovní plochy je zaústěno do jímky. Komunikačně je hnojiště napojeno na státní silnici Biskupice - Kralice panelovou vozovkou. Slouží k dozrávání surového kompostu po první překopávce, dále k jeho překopávání, případně k vlhčení. Výstupem je organické hnojivo [25].

7.2.4 Všeobecné požadavky

Velikost zakládky. Po dobu zrání musí být zakládka udržována ve vhodném tvaru, tj. v průřezu lichoběžník nebo trojúhelník s výškou od 2 do 4 m. Hmotnost jednotlivé zakládky nesmí překročit 3.500 tun [25].

Průmyslový kompost musí být hnědá, šedohnědá až černá homogenní hmota drobkovité až hrudkovité struktury, bez nerozpojitelných částic. Nesmí vykazovat pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek. „*Do kompostů mohou být použity jako suroviny jen odpady kategorie O*“ [26].

Tabulka č. 7: Kompostované odpady kategorie O [26].

Kód odpadu	Název odpadu
19 06 01	Stabilizovaný kal z komunálních a podobných čistíren odpadních vod
19 08 05	Stabilizovaný kal z čištění komunálních odpadních vod
19 08 02	Písek z lapáku
17 05 01	Zemina
03 01 01	Kůra
03 01 02	Piliny
02 01 03	Rostlinná tkáň
20 02 01	Kompostovatelný odpad z údržby zeleně
02 01 06	Hnůj
03 03 06	Kal z výroby buničiny a papíru

7.2.5 Technologický postup [25]

Základní technologické kroky při výrobě průmyslových kompostů řeší zpracování veškerých organických odpadů, které z různých důvodů nelze aplikovat přímo do půdy. Pro jeho využití v zemědělství musí být kladen velký důraz na výběr a přípravu vhodných materiálů. Fáze přípravy kompostu je možné rozdělit následovně:

I. Příprava materiálu

V této fázi je nutno si připravit všechny materiály ke kompostování, to znamená rozdrtit materiály většího objemu, nasekat rostlinný odpad, některé druhy prosít apod.

II. Navázka připravených materiálů

Materiály budou ukládány v kompostárně střídavě v pruzích o šířce 3-4 m, do výšky 2 m a ve tvaru lichoběžníku. Tohoto tvaru se docílí pomocí kolového nebo pásového nakladače. Výhoda tohoto tvaru je v hospodaření s přirozenou vlhkostí zakládky. Voda, která je obsažena v zakládce, se v suchých podmínkách udrží v jádru. V opačném případě, to je při silných srážkách, je lichoběžníková zakládka schopna pojmout velké množství těchto vod, aniž by došlo k prosakování nebo k vymývání.

III. Zrání

Po ukončení navázky a překopání začíná doba zrání, která musí trvat minimálně 21 dnů do další překopávky. Teplota musí v této době dosahovat minimálně 55 °C. V okamžiku, kdy teplota začne klesat, je nutno provést překopávku.

Příprava, úprava surovin a doba zakládky se nezapočítávají do doby zrání průmyslových kompostů. Doba zrání po skončení homogenizace (první překopávce) trvá minimálně 60 dní; obsahuje-li surovinová skladba více než 40 % těžce rozložitelných surovin, pak minimálně 100 dní. Během doby zrání je nutno kompost minimálně ještě jednou překopat. Interval mezi první a druhou překopávkou musí být delší než 21 dnů. Na následujícím obrázku č. 17 je třídič, jenž používá společnost SPRESO, s. r. o. pro úpravu velikosti surovin, které vstupují do kompostu [25].



Obrázek č. 17: Třidič kompostovaného materiálu [foto autor].

IV. Překopávka

Překopávkou kompost provzdušníme a promícháme, aby byl obnoven proces zrání. Zabráníme vzniku anaerobních zón, a tím i procesu hnití v zakládce. Při překopávání zakládky musíme dbát na to, aby se okrajové části dostaly do jádra zakládky, abychom zabezpečili hygienizaci a zničení semen plevelů. Musíme opět dodržet tvar a velikost zakládky.

V. Vyskladnění

Po ukončení procesu zrání, minimálně 60 dnů od navážky a nejdříve 14 dnů po poslední překopávce, kdy teplota 50 cm pod povrchem není vyšší než 45 °C, je kompost nahrnován na hromady a připraven pro další použití.

VI. Hotový kompost

„Hotový kompost je možno expedovat nejdříve 14 dní po skončení druhé překopávky. V té době nesmí být 50 cm pod povrchem zakládky teplota vyšší než 45 °C. Na zakládce nesmí být nevsáknutá závlaha, základka musí být urovnaná do tvaru umožňující bezpečné vzorkování a nesmí být zarostlá plevellem. Zvýšená teplota svědčí o dosud probíhajících procesech zrání. Výsledný produkt - průmyslový kompost musí odpovídat znakům jakosti dle ČSN. Tzn. (vlhkost, množství spalitelných látek, obsah dusíku, poměr C:N, hodnota pH, nerozložitelné příměsi, homogenita celku). Dále nesmí být v průmyslovém kompostu obsah ani jedné ze sledovaných látek vyšší než je stanoveno v ČSN. Pro využití kompostů II. jakostní třídy musí být splněny podmínky dle ČSN.“ [21].

8 Závěr

V závěru bakalářské práce hodnotím efektivnější způsob kompostování a také hlavní příčiny této vyšší efektivnosti. Současný stav kompostování v ČR je příliš svázaný normami, a to především normou ČSN 46 5735 o průmyslových odpadech. Tato ne zcela ideálně nastavená legislativa má mnohdy za následek nižší efektivnost. Ve vyspělých zemích EU, především v Rakousku, jsou tyto normy sice podobné, avšak jejich národní legislativa je nastavena tak, že je možno kompost vyrábět efektivněji. Naše normy vyžadují striktní dodržování pravidel EU, a v důsledku tohoto rigidního přístupu nelze dosáhnout efektivity kompostování, jako je tomu v již zmíněném Rakousku. Jediným možným krokem nápravy tohoto stavu je úprava platných legislativních předpisů ČR.

V rakouské kompostárně trvá proces kompostování od založení zakládky do vyskladnění 56 až 112 dní (zdroj pan Robert Tulnik). Oproti tomu v české kompostárně trvá doba od založení zakládky až po vyskladnění 60 až 365 dní (ústní sdělení paní Lenky Zapletalové). Rozhodující je zralost kompostu a jeho následné použití. Dobu trvání celého procesu ovlivňuje především materiálová skladba kompostu – např. při kompostování kalů z čistíren odpadních vod je doba pro kompostování delší, zvláště pak je-li tento substrát určen pro soukromé odběratele, kteří jej zužitkovávají např. při hnojení zahrad. Při intenzivním kompostování, jaké praktikují v Rakousku, je kompost denně provzdušňován. Kontinuálně se pomocí čidel sleduje teplota a vlhkost zrajícího kompostu. Překopávka se provádí tak, že v pásových hromádách jsou umístěny provzdušňovací tyče s otvory, které denně kompost provzdušňují. Kompostování je tedy po celou dobu zrání aerobní. Proto mohou Rakušané dosáhnout při hygienizaci teplot až 70 °C.

Dosažením takto vysoké teploty je proces značně urychlován, tudíž firma Arge kompost & Biogas může nabízet výsledný produkt konečným spotřebitelům výrazně dříve než tuzemský produkce. Pochopitelným důsledkem vyšší efektivity je také dosažení výrazných zisků z prodeje. V Rakousku je po kompostu velká poptávka: 60-70 % se prodává do domácností, zbývajících přibližně 30 % výroby odebírají farmáři jako hnojivo, které používají na zkvalitnění půdy.

Naproti tomu česká kompostárna musí svůj stabilizovaný kompost na vlastní náklady dovážet až k jednotlivým zemědělcům na pole. Tam potom musí tento substrát opět na vlastní náklady rozmetat pomocí vlastních rozmetačů. Dá se tudíž říct, že společnost

SPRESO, s. r. o. má zisk pouze z výkupu BRO, zatímco za vyrobené substráty, které jsou mnohdy kvalitní, žádných tržeb nedosahuje, především vinou nulové poptávky nulové poptávky ze strany odběratelů.

Z výše uvedených zjištění je zcela zřejmé, že převzetí legislativních doporučení EU v jejich plném rozsahu a bez modifikace pro místní podmínky má velmi kontraproduktivní dopad: zvýšení ekologické zátěže, nízká ekonomická výnosnost firem zabývajících se kompostováním a v neposlední míře i vyšší pravděpodobnost výskytu patogenů v kompostovací hmotě.

Mým cílem je navázat v budoucnu na tuto bakalářskou práci i prací diplomovou. Chtěl bych v ní oběma firmám doporučit použití určitého vhodného kmene bakterií, kterým se proces ještě zrychlí a zefektivní. Bakterie by byly naočkovány přímo do pásové hromady. Výsledky hodlám v průběhu kompostování zachytit a zaznamenat při různých speciálních měřeních, která by byla prováděna přímo na místě. Jsem upřímně přesvědčen a doufám v to, že tato metoda bude krokem ke zlepšení a zefektivnění metody stávající, a také doufám, že k tomu budu moci osobně přispět.

Seznam použité literatury

- [1] GORDA, B.: *Technika zpracování odpadů*, skriptu MZLU v Brně, 1995, 260 s., první vydání, č. publ. 1489, ISBN 80-7157-164-4.
- [2] EPSTEIN, E.: *The Science of Composting*. Technomic Publishing Co INC, Pennsylvania, 1997, ISBN No. 1-56676-478-5.
- [3] Tajfun Digital. <kompostarny/public> [online]. 2010 [cit. 2010-04-07]. Databáze komostáren Zeraagency.eu. Dostupné z WWW: <<http://www.zeraagency.eu/kompostarny/public/>>.
- [4] PLÍVA, Petr. a kol.: *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*, Praha: VÚZT, 2009, první vydání, 136 s, ISBN 978-80-86726-32-8
- [5] *Anaerobní technologie*. ODPADY [online]. 19. 7. 2004, [cit. 2010-04-07]. Dostupný z WWW: <<http://odpady.ihned.cz/c1-14639270-anaerobni-technologie>>.
- [6] PASTOREK, Z.: *Využití biomasy zemědělského původu, metodika pro zemědělskou praxi*, Mze ČR, Praha, 12/1999.
- [7] BANOUT, J. *Optimalizace surovinové skladby, výrobní plochy a kalkulace provozních nákladů při výrobě kompostu v zakládkách*. Praha, 2005. 120 s. Dizertační práce. ČZU.
- [8] MACOUREK, Michal. *Optimalizace-surovinove-skladby-pri-kompostovani-zbytkove-biomasy* [online]. 5. 11. 2002, 9. 11. 2006 [cit. 2010-04-07]. Biom.cz. Dostupné z WWW: <<http://df.biom.cz/czp-bioplyn/odborne-clanky/optimalizace-surovinove-skladby-pri-kompostovani-zbytkove-biomasy>>.
- [9] PLÍVA, Petr, JELÍNEK, Antonín, KOLLÁROVÁ, Mária: *Využití technických prostředků pro technologii zpracování bioodpadu kontrolovaným kompostováním na malých hromadách*. Biom.cz [online]. 2005-04-18 [cit. 2010-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-technickyh-prostredku-pro-technologie-zpracovani-bioodpadu-kontrolovanym-kompostovanim-na-malych-hromadach>>. ISSN: 1801-2655.
- [10] VÁŇA, Jaroslav: *Kompostování odpadů*. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2010-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.

- [11] SLEJŠKA, Antonín; VAJÍK, Karel.: *Praktická abeceda kompostování*: Kompostování. In *Praktická abeceda kompostování*. 1. Zlín: Dekont Umwelttechnik, spol. s r. o., 5/1999. s. 2.
- [12] KÁRA, Jaroslav, PASTOREK, Zdeněk, JELÍNEK, Antonín: *Kompostování zbytkové biomasy*. Biom.cz [online]. 2002-01-31 [cit. 2010-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [13] HEJÁTKOVÁ, K., JELÍNEK, A., MACOUREK, M., NOVÁK, P., OSTRATICKÝ, R., PLÍVA, P., ŠREFL, J., VOSTÁL, D., VOSTOUPAL, B., ZEMÁNEK, P., ZIMOVÁ, M.: *Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním kompostováním*. Realizační pomůcka pro zpracování podnikové normy, VÚZT Praha, 2003, 62s.
- [14] PLÍVA, Petr, JELÍNEK, Antonín, HEJÁTKOVÁ, Květuše.: *Obecná podoba podnikové normy pro faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním procesem*. Biom.cz [online]. 2002-04-12 [cit. 2010-04-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/obecna-podoba-podnikove-normy-pro-faremni-kompost-vyrobeny-kontrolovanym-mikrobianim-procesem>>. ISSN: 1801-2655.
- [15] ZIMOVÁ, Magdalena; MAŤEJŮ, Ladislav; SLEJŠKA, Antonín.: *Kompostování odpadů a potencionální riziko mikrobiální kontaminace*: Kompostování odpadů. In *Kompostování odpadů a potencionální riziko mikrobiální kontaminace*. Praha: Národní referenční laboratoř pro hygienu půdy a odpadů, 5/1999. s. 5.
- [16] ČERMÁK, O; KEBÍSEK, M.: *Odpadové Hospodárstvo kompostování*. první vydání. Bratislava: STU-Bratislava, 2008. Mikroorganismy v procesu kompostování, s. 149. ISBN 978-80-227-2920-8.
- [17] *AIDE POUR DIAGNOSTIC MÉDICAL* [online]. 4/2009 [cit. 2010-03-20]. Lookfordiagnosis.com. Dostupné z WWW: <http://www.lookfordiagnosis.com/mesh_info.php?term=Aspergillus+Nidulans&lang=1>.
- [18] (Eastwood 1952, Finstein and Morris 1975, Storm 1985b, Andrews et al. 1994, Beffe et al. 1996, Pedro et al. 2001)
- [19] *Department of Microbiology* [online]. 1999, 2007 [cit. 2010-03-22]. Microbiology.mtsinai.on.ca. Dostupné z WWW: <<http://microbiology.mtsinai.on.ca/mig/actino/actino17.shtml>>.

- [20] VÁŇA, J; BALÍK, J; TLUSTOŠ, P.: *Pevné odpady*. ČZU Praha: Katedra agrochemie a výživy rostlin, 2005. Hodnocení zralosti kompostu, s. 177. ISBN 80-213-1097-9.
- [21] Česká Republika. ČSN 46 5735 : *Průmyslové komposty*. In ICS: 65.080 Hnojiva. 1991, 300, s. 32.
- [22] Acta Hygienica, *Epidemiologica et Microbiologica*, SZÚ, Praha, Listopad 2001, 2001, 7, s. 11. Dostupný také z WWW: <<http://www.szu.cz/edice/casopis.htm>>. ISSN 0862-5956.
- [23] ŠŤASTNÁ, J. *Rakousko: hygienizace přímo v hromadách*: ODPADY [online]. 9. 12. 2008, 11, [cit. 2010-03-07]. Dostupný z WWW: <http://odpady.ihned.cz/c4-10005080-31407840-E00000_d-rakousko-hygienizace-primo-v-hromadach>.
- [24] AMLINGER, Florian, et al. *STAND DER TECHNIK DER KOMPOSTIERUNG*: Grundlagenstudie. Wien: Lebensministerium.at, 2005. 344 s.
- [25] ZAPLETALOVÁ, Lenka; SOTOMÍK, Eduard. *Technologický postup výroby kompostů na kompostárně Kralice na Hané v okrese Prostějov*. 1. Kralice na Hané: SPRESO s. r. o., 2008. 11 s.
- [26] Česká republika. *Zákon č. 125/97 Sb. o odpadech*.: 1. vyhlášku č. 337/1997 Sb. In *Zákon o odpadech a s ním související vyhlášky*. 1997, 44/1997 Sb, s. 25.

Seznam obrázků

- Obrázek č. 1: Obecná rovnice kompostování [1]
- Obrázek č. 2: Kompostárny v ČR registrované u společnosti ZERA [3]
- Obrázek č. 3: Kompostování v pásových hromadách na volné ploše [4]
- Obrázek č. 4: Kompostování v pásových hromadách v uzavřeném prostoru [4]
- Obrázek č. 5: Bakterie Pseudomonadaceae [17]
- Obrázek č. 6: Plíseň Aspergillus [17]
- Obrázek č. 7: Nocardia brasiliensis [19]
- Obrázek č. 8: Průcentuální skladba kompostu v Rakousku [24]
- Obrázek č. 9: Stupně mineralizace biogenních látek [24]
- Obrázek č. 10: Celková bilance bioodpadu (Ottow & Bidlingmaier, 1997) [24]
- Obrázek č. 11: Kompost, ve kterém právě probíhá proces hygienizace [23]
- Obrázek č. 12: Kompostárna společnosti Arge kompost & biogas [23]
- Obrázek č. 13: Čidla neustále kontrolují a teplotu a vlhkost v kompostu [23]
- Obrázek č. 14: Kryté hnojiště firmy SPRESO s. r. o. [foto autor]
- Obrázek č. 15: Detail čerstvě založeného kompostu [foto autor]
- Obrázek č. 16: Detail kompostu těsně před vyskladněním [foto autor]
- Obrázek č. 17: Třidič kompostovaného materiálu [foto autor]

Seznam tabulek

Tabulka č. 1:	Možná surovinová skladba kompostu [4]
Tabulka č. 2:	Příklad výskytu mikroorganismů v kompostě [18]
Tabulka č. 3:	Základní jakostní znaky průmyslového kompostu [21]
Tabulka č. 4:	Aerobní a anaerobní rozklad cukru a energetická bilance [22]
Tabulka č. 5:	Optimální teplotní rozpětí podle nároků na proces tlení [24]
Tabulka č. 6:	Procesy nutné pro provedení hygienizace [24]
Tabulka č. 7:	Kompostované odpady kategorie O [26]

Seznam nejdůležitějších právních předpisů

Česká legislativa:

- I. § Zákon č. 461/2004 Sb., o hnojivech (poslední změna 444/2005)
- II. Vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva (poslední změna 209/2005),
- III. ČSN 46 5735 – Průmyslové komposty (vydána 06. 1991)
- IV. ČSN 75 6401 – Čistírny městských odpadních vod
- V. ČSN 01 5110 – Vzorkování materiálů. Základní ustanovení
- VI. ČSN ISO 10381 – 6 Kvalita půdy – Odběr vzorků – Část 6: Pokyny pro odběr, manipulaci a uchovávání půdních vzorků určených pro studium mikrobiálních procesů v laboratoři,

Rakouská legislativa:

- I. BGBl I 102/2002; §2(8)1 – Österreichischen Abfallwirtschaftsgesetz, (rakouský zákon o odpadech)
- II. ÖNORM 2206-1 Grundlagen für die Qualitätssicherung eines Betriebes und der betriebsinternen technischen Abläufe – Principy pro zajišťování kvality společnosti a interních technických postupů
- III. ÖNORM 2206-2: Festlegung der Aufgaben und Vorgaben an ein externes Qualitätssicherheitssystem – Stanovení úkolů a podmínek pro systém externího zajištění kvality
- IV. ONR 192206 – Prováděcí technologický předpis kvality kompostování
- V. Kompost aus Ausgangsmaterialien gemäß Anlage I Teil 1, 2 und 4 Kompostverordnung (BGBl. I Nr. 292/2001) Kompost ze surovin, příloha číslo I, část 1, 2 a 4 s vyhláškou O kompostu ze spolkové sbírky zákonů I č. 292/2001
- VI. ÖWAV 2004: Hygiene-Merkblatt für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen – Hygienický leták pro zaměstnance z čistíren odpadních vod